

# 木材及び木質材料の変形ならびに破壊挙動に関する 材料強度学的研究

著者	佐藤 清
号	1167
発行年	1990
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/9974">http://hdl.handle.net/10097/9974</a>

氏 名	佐藤 清
授与学位	工学博士
学位授与年月日	平成2年12月12日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最終学歴	昭和37年3月 東北大学教育学部学校教育学科卒業
学位論文題目	木材及び木質材料の変形ならびに破壊挙動に関する 材料強度学的研究
論文審査委員	東北大学教授 高橋 秀明      東北大学教授 前川 一郎 東北大学教授 斎藤 武雄      東北大学教授 阿部 博之

## 論文内容要旨

木材は最も古くから使用されてきた材料の一つであり、木材の材質の多様性と材料の多能性からあらゆる分野に利用されてきており、今なお木材および木質材料（ファイバーボード、パーティクルボードなど）は建築などの構造物、家具、諸器具などに多量に使用されている。しかし現在、木材資源の枯渇化が世界的な規模で問題となっている。それ故、木材や木質材料を有効的にかつ安全性を考慮して使用するには、材料の破壊強度や変形挙動などを系統的に調べるのが是非必要である。しかしながら、これらについての研究は不十分であるのが現状である。

本論文はこのような観点から、木材や木質材料の破壊強度や変形挙動などを破壊力学的手法などを用いて明らかにしようとするものである。

本論文はつぎの10章で構成されており、以下にその概要を示す。

### 第1章 緒 論

本章では本研究の必要性、目的、背景と本論文の構成について述べている。

### 第2章 木材の引張及び圧縮強度ら及びすびずみ速度の影響

木材の機械的性質（引張、圧縮強度など）は、金属、高分子などの場合と同様、ひずみ速度の影響を受けられる。ここではブナの縦および横方向における引張および圧縮強度のひずみ速度依存性を調べ以下の知見を得た。

- (1) 縦および横引張強度ともにひずみ速度の対数に比例して増加する。

(2) 縦および横引張強度ともに引張強度の場合と同様、ひずみ速度の増加に従って増加する(図1)。

### 第3章 木材の引張及び圧縮強度の試験片形状効果、ならびに圧縮強度の寸法効果

木材の圧縮強度は断面形状が異なると異なる値を示し、断面の片が多い程圧縮強度が大きく、辺が無限大に近い円形断面が最大圧縮強度を示すことが明らかとなった。また、横引張強度の場合は断面形状ばかりでなく、断面内に存在する長い繊維の密度が影響を及ぼすことが明らかとなった。

木材の圧縮強度は寸法が増加するに従って減少し、寸法効果が認められた(図2)。また、寸法効果が認められた木材の圧縮破壊に対しては最弱リンク理論を適用できることがわかった。

### 第4章 繊維強化された厚板の圧縮シェア・バンド座屈

第2章、第3章で天然の複合材料といわれる木材の縦圧縮試験を行った場合、きれいなシェア・バンド状のものが形成された。本章では、前2章の縦圧縮試験片の様相を参考にして、理想化理論により、縦圧縮荷重を受ける軸方向に繊維強化された厚板の座屈をシェア・バンド座屈モデルを用いて解析した。また、ブナの縦圧縮試験とせん断試験を行い、理論と実験との比較も行った。

縦圧縮試験で現れたシェア・バンドの様相は座屈モデルのシェア・バンドとよく似ており、現象的には、理想化理論による解析は木材の縦圧縮試験をよく表現していると言える。また、シェア・バンド部の繊維の傾きと荷重との関係を見ると、理論的と実験値との傾向はよく一致していることがわかった。(図3)。

### 第5章 木材素材の破壊強度

本章では木材素材について、破壊じん性、圧縮強度、曲げ強度、ヤング係数などを調べた。その結果つぎのことが明らかとなった。

- (1) 破壊じん性は素材の比重が増加するに従って増加する。また、破壊じん性は破壊面により異なる値を示す。
- (2) 圧縮および曲げ強度とも比重が増加するに従って増加する。
- (3) 曲げ強度は破壊じん性の増加に従って増加する傾向がある。
- (4) 木材の場合にも、コンプライアンス法によりヤング係数を測定することができる。

### 第6章 エステック・ウッド(熱処理木材)の破壊強度

本章では寸法安定性を得るために熱処理を行ったエステック・ウッドの破壊じん性、圧縮強度、曲げ強度、ヤング係数などを調べ、その結果と前章で得た素材の結果との比較検討を行った。

熱処理により材内部のセルロースの結晶領域が増加したと思われるエステック・ウッドの破壊じん性およびヤング係数の値は素材の値よりも増加している。それに反し、材中のセルロースの崩壊が著しいと思われるエステック・ウッドの破壊じん性は素材の値よりも著しく減少し、ヤング係数の値も素材の値よりも減少していることが明らかとなった。

エステック・ウッドの圧縮強度は材内部のセルロースの結晶領域の増加あるいは材中のセルロー

スの崩壊には関係なく、素材の値よりも増加している。また、エステック・ウッドの曲げ強度および曲げヤング係数の値はすべて素材の値よりも減少していることが明らかとなった。

## 第7章 エステック・ウッドの改良とその改良材の破壊強度

エステック・ウッドは寸法安定性があり、材質は硬くなるが、材が脆くなり割れやすくなる欠点がある。これらの欠点を改良するために、エステック・ウッドにポリエチレングリコール（PEG）含浸処理を行い、そのPEG含浸材の破壊じん性、圧縮強度などを調べ、PEG含浸材の結果と素材およびエステック・ウッドの結果との比較検討を行った。

エステック・ウッド、PEG含浸材の荷重－変位曲線については、PEG含浸材の最高荷重はエステック・ウッドの値よりも増加しており、荷重－変位曲線の立ち上りもエステック・ウッドより緩くなった。

PEG含浸処理を行うことにより破壊じん性の値はすべての樹種で、エステック・ウッドの値よりも増加したが、ヤング係数については逆にエステック・ウッドの値よりも減少した。また、縦圧縮強度はPEG含浸処理によりエステック・ウッドの値よりも減少した。

PEG含浸処理によりエステック・ウッド製造後に発生するき裂を防止することが可能となった。

## 第8章 混合モード負荷による木材素材及びエステック・ウッド（熱処理木材）の破壊

本章ではモードⅠとモードⅡの混合モード負荷条件下における破壊について調べた。

木材は異方性が著しいため、混合モード負荷による素材およびエステック・ウッドの破壊はモードⅠ成分（ $K_I$ ）により決まり、均質な材料による結果とは異なっており、従来提案されている破壊のクライテリオンでは説明できないことが明らかとなった。

## 第9章 ファイバーボードの破壊強度について

### 9.1 機械的性質に及ぼす負荷速度の影響

中比重ファイバーボードの曲げ強度はたわみ速度に依存して増加するが、はく離強度は負荷速度の影響を受けないことがわかった。また、圧縮および引張強度は負荷速度が増加するに従って増加することがわかった。

### 9.2 破壊じん性に及ぼす諸因子の影響

中比重ファイバーボードの破壊じん性は負荷速度の影響を受けない。また破壊じん性は切欠き先端半径が1.5mm以下では切欠き先端半径の影響を受けないが、先端半径が3mm以上では若干影響をうけることがわかった。

切欠き比  $a/W$  が  $0.4 \leq a/W \leq 0.6$  の範囲では、切欠き比の影響をうけずに有効な破壊じん性を求められることが明らかとなった。

破壊じん性は寸法が増加するに従って増加し、寸法依存性が認められた。

### 9.3 混合モード負荷による切欠き材の破壊

ここでは中比重ファイバーボードについて、モードⅠからモードⅡにわたる混合モード負荷条件下における破壊を実験的に行い、その結果と従来提案されている破壊のクライテリオンと比較した。

実験で得た中比重ファイバーボードの破壊のクライテリオンは Amestoy らによって提案されているクライテリオンにほぼ近い（図5），しかしながら，混合モード負荷でのき裂成長方向のクライテリオンは従来提案されているクライテリオンのいずれにも従わないことがわかった。

## 第10章 結 論

本章は結論であり，第2章から第9章までに得られた結果を総括して列記している。

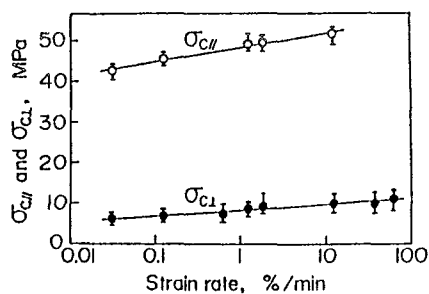


図1 ひずみ速度と圧縮強度との関係

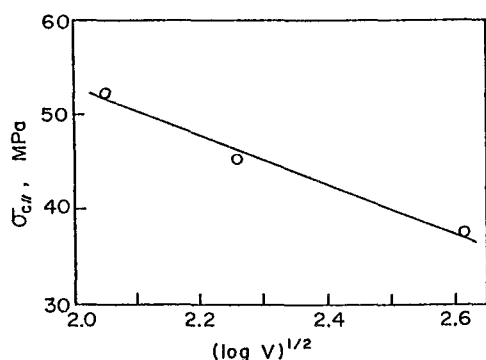


図2 縦圧縮強度の寸法効果

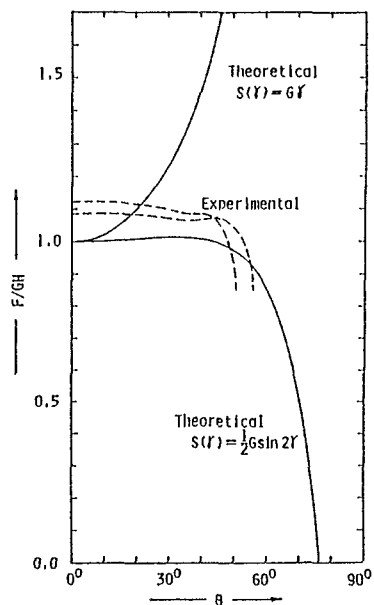


図3 繊維の傾きと荷重との関係

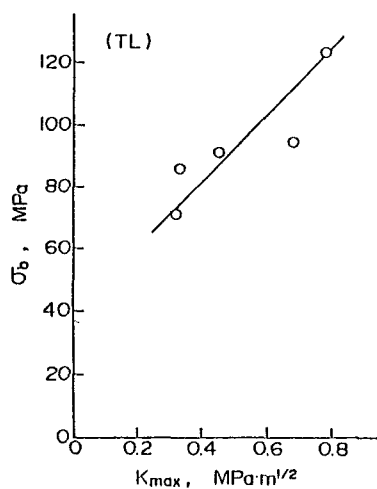


図4 破壊じん性と曲げ強度との関係

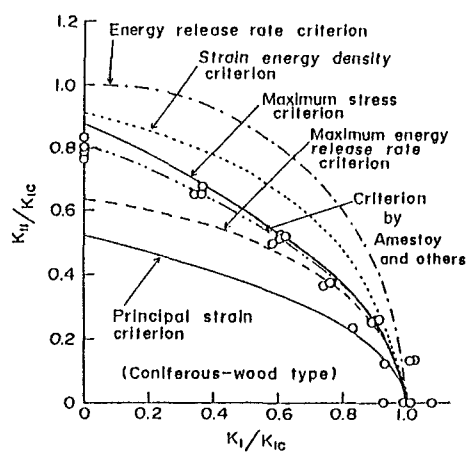


図5  $K_I/K_{IC}$ と $K_{II}/K_{IIC}$ 関係

## 審 査 結 果 の 要 旨

木材は最も古くから使用されてきた材料の一つであり、かつ現在でも建築構造物、家具その他に多量に使用されている。さらに最近では木材資材の有効利用のために集成材なども注目され始め、木材ならびに木質材料の変形や破壊強度評価法の確立の重要性が指摘されている。

本論文は、木材素材あるいは熱処理改質材などについて、その変形ならびに破壊挙動に関する実験的解明及びその体系化を試みたもので、全編10章よりなっている。

第1章は、緒論である。

第2章では、木材（ブナ）の引張および圧縮強度に及ぼすひずみ速度効果を論じている。特に木材組織でその異方性を明らかにしている。

第3章では、上記引張及び圧縮強度の試験片形状効果について、断面形状の異なる試験片を用いて検討している。さらに試験片寸法効果は圧縮破壊で顕著であり、これらは最弱リンク理論が適用できることを見出している。

第4章では、圧縮実験で現われる圧縮シェアバンド座屈挙動のモデル化とその実験的検証について述べている。つまり木材を理想化繊維強化複合材のモデルで近似することにより、理論値と実験値が良く一致することを明らかにしている。

第5章は、10種類の木材素材の破壊靱性や圧縮、曲げ強度などの破壊の諸特性を測定し、それらの数値と木材組織ならびに比重との関連性を中心に系統的に整理した結果をまとめている。

第6章では、熱処理改質材（エステックウッド）について前章と同様の破壊特性を求め、素材との比較検討を行っている。つまり高温熱処理により木材中のセルローズが崩壊し、これにともない破壊靱性、曲げ強度は低下するが、圧縮強度は余り変化しないことなど改質条件を選定する上で重要な知見を得ている。

第7章は、第6章で述べた熱処理改質による材料の脆化を改善するための手法について述べている。熱処理後にポリエチレングリコールなどを含浸することで、破壊靱性や曲げ強度の低下は改善は出来るものの、その改善度は樹種に強く依存するなど新しい知見が得られている。

第8章では、木材の破壊を論ずる上で重要であるにもかかわらず、これまで余り明らかにされていない混合モード負荷破壊実験について述べている。木材は異方性が強いために従来の混合モードの破壊のクライテリオンは適用できないことを明らかにしている。

第9章では、新素材として注目されているファイバーボードの破壊の諸特性についてまとめている。

第10章は結論である。

以上要するに本論文は、木材素材ならびに熱処理改質材について、破壊力学的手法を中心に、合理的な材料評価方法を系統的にまとめたものであり、機械工学、特に材料強度学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。